

掺钆液闪中子探测器的研制^{*}

魏伟伟¹, 杜 强², 王 力³, 余训臻², 张才勋¹, 幸浩洋²,
林兴德², 唐昌建², 岳 骞³, 朱敬军¹

(1. 四川大学 原子核科学技术研究所, 辐射物理与技术教育部重点实验室, 成都 610065;
2. 四川大学 物理科学与技术学院, 成都 610065; 3. 清华大学 工程物理系, 北京 100084)

摘要: 中子在探测器中能产生与暗物质粒子(WIMPs)类似的核反冲信号,对于低背景的暗物质直接探测实验,精确测量和排除中子的干扰尤其重要。为测量中国锦屏地下实验室(CJPL)中子本底的通量,研制了高效的、具有很强“中子-伽马”分辨的掺钆液闪快中子探测器。介绍了掺钆液闪中子探测器的研制和性能,包括探测器形状和尺寸的设计,液体闪烁体类型、光电信增管型号以及液闪容器材料的选择,探测器的伽马能量刻度以及中子与伽马信号的甄别。用 Am-Be 中子源对探测器进行探测效率刻度,得到阈值为 0.2 MeV 等效电子能量的中子探测效率为(6.30±0.30)% ,满足中国锦屏地下实验室对中子通量测量的要求。

关键词: 暗物质; 快中子; 液闪探测器; 能量刻度; n-γ 甄别; 探测效率

中图分类号: O571.53

文献标志码: A doi:10.11884/HPLPB201527.066001

在中国锦屏地下实验室(CJPL)中,中国暗物质实验组(CDEX)采用高纯锗阵列系统直接探测暗物质,暗物质粒子与高纯锗中的原子核碰撞产生核反冲,测量核反冲的信号,即可探测暗物质^[1-3]。中子与暗物质粒子一样不带电荷,因此中子在探测器中引起的核反冲信号与暗物质粒子引起的核反冲信号极为相似。而高纯锗探测器不能分辨这两种信号,因此地下实验室中子通量的准确测量对于暗物质探测来说就极为重要^[4-5]。

地下实验室的中子探测与地面中子探测不同,其主要区别在于:地下实验室中子通量很低,能区很宽,如意大利的 Gran Sasso 地下实验室的大厅 A,在 1~10 MeV 能区的中子通量为 $(0.60 \pm 0.07) \times 10^{-6} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ^[6],西班牙的 Canfranc 地下实验室在 1~10 MeV 能区中子通量为 $(0.65 \pm 0.02) \times 10^{-6} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ^[7],预计 CJPL 在此能区的中子通量数量级也为 $10^{-6} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。为高效测量宽能区、低通量的快中子,需要研制高灵敏度的中子探测器,并完成对该探测器各个参数的刻度。由于液闪探测器的响应时间快,探测效率高,且具有较好的 n-γ 甄别能力^[8],本文采用液体闪烁体作为探测器的灵敏介质,为进一步增强 n-γ 甄别能力,采用了掺 Gd 的液闪和快慢信号符合的技术。

1 掺 Gd 液闪中子探测器的研制

1.1 原 理

中子本身不带电,它经过物质时不会与物质中的电子发生电磁相互作用,不会与物质产生直接的电离或激发。探测中子,主要是靠中子与原子核发生相互作用产生的次级带电粒子引起电离和激发。中子与原子核的相互作用主要有如下四种方式:核反应、核反冲、核裂变和活化等。

掺 Gd 液闪中子探测器是基于核反冲与中子辐射俘获相结合的原理研制的探测器。当中子进入探测器后,先与 H,C 等原子核发生弹性碰撞,产生反冲核信号,可称之为快信号;同时,中子被慢化,成为热中子后很容易被液闪中的 Gd,H 和 C 等元素俘获,其中 Gd 对中子的俘获截面最大,中子被 Gd 俘获后产生一组总能量约 8 MeV 的 γ 光子^[9],并在探测器中产生一个很强的信号,称之为慢信号。快慢信号之间有一定的时间间隔(通常为 μs 量级),因此我们通过快慢信号符合的方法以及 n-γ 分辨方法来挑选中子事例,以达到高灵敏度探测中子的目的。

1.2 设计及组装

液闪探测器的核心是液体闪烁体。鉴于地下实验室的中子通量极低,一般会在闪烁体中掺入一些热中子俘

* 收稿日期:2015-01-28; 修订日期:2015-03-24

基金项目:国家自然科学基金项目(11275134,11475117);国家自然科学基金重点项目(10935005);国家自然科学基金委主任基金项目(11055002)

作者简介:魏伟伟(1989—),女,硕士,从事中子探测研究;triplewei@163.com。

通信作者:朱敬军(1977—),男,博士,从事中子探测、背散射、核分析技术研究;zhujingjun@scu.edu.cn。

获截面较高的物质(如 Gd)来增加热中子的俘获概率。这种液闪主要有两个优点^[10]:一是 Gd 的同位素¹⁵⁵Gd 及¹⁵⁷Gd 有很高的热中子俘获截面,可以提高热中子的俘获概率并缩短俘获时间;二是 Gd 俘获热中子后会放出一组总能量约为 8 MeV 的 γ 射线,其能量高于环境本底中的 γ 信号,有利于提高中子探测器的探测效率。我们选择 Eljen Technology 公司生产的 EJ-335 液体闪烁体作为探测器的灵敏介质,EJ-335 拥有较高的发光产额,发光效率为 55% (相对于蒽),发射光谱的极大值波长为 424 nm,光衰减长度大于 4.5 m,密度为 0.89 g/cm³,折射率为 1.49。EJ-335 用矿物油代替了芳香族溶剂,因此它具有更高的氢碳比和更高的燃点(64 °C),H 与 C 原子数比为 1.57,Gd 的质量百分数为 0.5%^[11]。

探测器选用圆柱形的石英玻璃作为 EJ-335 的容器,为了得到合适的探测器尺寸,借助 Geant4 模拟软件进行模拟,模拟时设置石英玻璃容器长度为 400 mm,直径从 200~400 mm 变化,得出探测效率随尺寸的变化关系(此处的探测效率定义为当中子打入探测器,其被俘获中子数量与射到探测器灵敏体积上的中子数量之比),结果如图 1 所示,图 1(a)是探测效率随探测器尺寸的变化,图 1(b)是单位体积探测效率随探测器尺寸的变化。通过对模拟结果的比较,在兼顾总探测效率和单位体积探测效率的同时,综合考虑费用支出、探测器易于操作性与便于运输等因素,选择尺寸为 $\phi 300 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ 作为石英玻璃容器的尺寸。

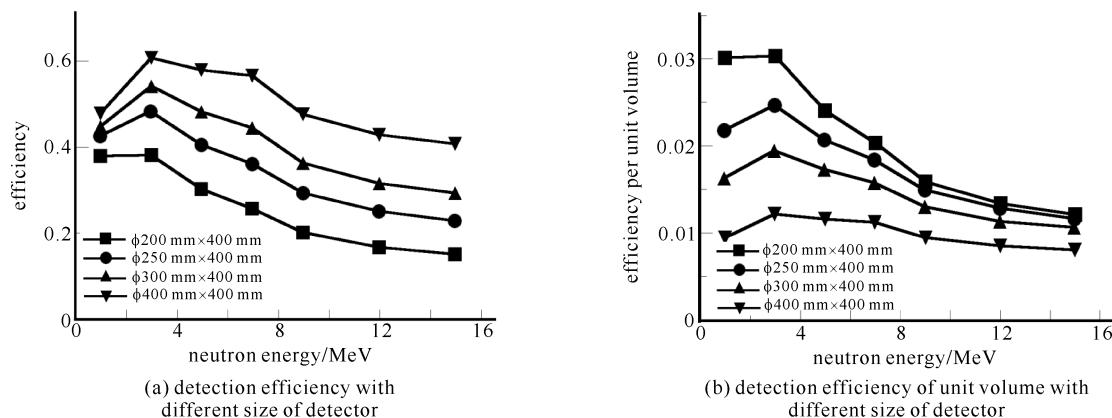


Fig. 1 Simulation of detection efficiency

图 1 探测效率模拟

探测器采用双端读出,以便收集更多的闪烁光。在探测器的两端是用光导连接的光电倍增管(PMT),采用光导的目的是为了把探测器中产生的闪烁光更有效地传输到光电倍增管的光阴极,在光导和光电倍增管之间涂有一层硅油,以增加两个界面之间的导光性。

PMT 选用日本滨松公司生产的 RS5912-02,直径 202 mm,光阴极曲面半径 131 mm。光响应的峰值波长为 390 nm,共有 3 个聚焦极,14 个打拿极,当工作在 -1700 V 的高压时,增益可以达到 10⁹ 倍。PMT 的高压由 CAEN 公司 N470 高压电源插件提供。

在石英玻璃外表面,裹上特氟龙作为反光材料,在特氟龙的外面又裹上了黑胶布用作遮光。整个石英玻璃被约 3 mm 厚的高纯无氧铜外壳罩起来。选择无氧铜作为外壳,一是为了很好地支撑和固定整个探测器,二是高纯无氧铜本身放射性极低,对探测器本底贡献较小,三是可以遮光。

在整个探测器的外壳以及附件组装完毕后,开始灌装液闪 EJ335。EJ335 具有一定的腐蚀性和毒性,因此灌装时采用高压气体将其压入石英玻璃容器中。灌装之前将石英玻璃容器先后用去离子水和无水乙醇清洗干净,之后将氮气充入石英玻璃容器,以排除容器中的空气,最后将灌装液闪的管子插入容器,液闪灌装完毕后,用特氟龙反光层和黑胶布封住灌装口。

由于环境中有大量的 γ 本底,在地面实验室对探测器进行性能测试和参数刻度时,我们在探测器周围用铅砖搭建了用于屏蔽环境本底的铅屏蔽室,屏蔽室内部长 140 cm,宽 50 cm,高 60 cm,六个面的厚度均为 5 cm,顶层铅砖用 0.5 cm 厚的钢板支撑。屏蔽体上面有三个直径 3 cm 的开孔,用 γ 源对探测器刻度时,可以通过该小孔将放射源放入屏蔽体内部。

1.3 数据采集系统

探测器的数据采集系统(DAQ)采用 CAEN 公司生产的 VME 机箱和插件。接线示意图如图 2,从 PMT1,PM2 和随机信号发生器出来的信号分别经过扇入扇出插件(FIFO)分为两路,一路直接接入快速模数转换插

件(FADC)，另一路分别接入一个阈值甄别器，从阈值甄别器出来的 PMT1 和 PMT2 信号同时进入逻辑与插件(logical AND)后，再与阈值甄别器出来的随机信号发生器信号同时进入逻辑或插件(logical OR)，其输出作为 FADC 的触发信号接入 V1721 中，只有当 FADC 接收到触发信号时才会采数，FADC 采集的数据经光纤和光电转换插件 A2818 传入电脑中。

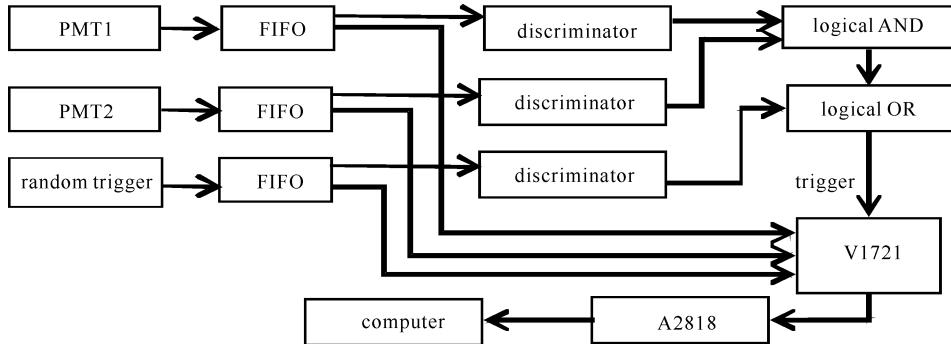


Fig. 2 Electronics and data acquisition system diagram of fast neutron detector

图 2 快中子探测器电子学和数据获取系统框图

数据采集中，当 PMT1 和 PMT2 的输出脉冲同时超过阈值时，才会给出触发信号。由于光电倍增管增益较大，DAQ 系统中并未使用前放等放大器，而是直接采集 PMT 的输出信号。random trigger 信号用于探测器能量零点的刻度和系统死时间的计算。DAQ 软件使用 CJPL 实验室编写的基于 LabView 的数据采集软件。

2 掺 Gd 液闪快中子探测器的性能

2.1 能量刻度

用两个标准的 γ 源⁶⁰Co 和¹³⁷Cs 对探测器进行能量刻度，两个 γ 源均为密封点源。测量时， γ 源通过铅屏蔽体上方的小孔悬挂在探测器前侧的中心(紧贴探测器)，两个 γ 源各采集 10^6 个事例。

图 3 为实验采集到的一个信号的波形示意图及数据处理中各参数的定义，用 Q_{total} 代表脉冲的总电荷积分，积分区间从峰前 40 ns 到峰后 160 ns。探测器有左右两个 PMT，同时有两路信号输出，由图 3 中的参数 Q_{total} 可定义一个与能量成正比、而与位置无关的量

$$Q = \sqrt{Q_{\text{total1}} Q_{\text{total2}}} \quad (1)$$

其中， Q_{total1} 和 Q_{total2} 分别为左右两个 PMT 的总电荷积分。画出 Q 谱，即为 γ 源的电荷积分谱。 γ 射线在液闪中主要发生康普顿散射，所得的能谱是一个连续的能谱，不会出现特征全能峰^[12]。为了进行能量刻度，我们通过 Geant4 软件模拟在实验条件下⁶⁰Co 和¹³⁷Cs 两种 γ 源在探测器中的沉积能谱，模拟中没有考虑到探测器的能量分辨率，因此需要对模拟能谱展宽，展宽后的能谱与实验测得的电荷积分谱对比，从而得到 Q 值与等效电子能量的关系，完成能量刻度。

对模拟的能谱做一个高斯展宽或卷积，高斯函数的标准方差满足^[13]

$$\left(\frac{\sigma}{E}\right)^2 = \alpha + \frac{\beta}{E} \quad (2)$$

其中 α 和 β 为待定参数，通过调整 α 和 β ，使模拟的能谱与实验的能谱重合得最好，最后选定 $\alpha=0.0003, \beta=3.5 \text{ keV}$ 。展宽后的能谱与实验测得的电荷积分谱对比如图 4(a) 和图 4(b) 所示，其中虚线为展宽后的模拟能谱，实线为实验能谱(其中 E_{ee}/MeVee 代表等效电子能量)。从图中可以看出，大部分能区模拟与实验符合得较好，但低能部分符合得并不是很好，原因在于模拟程序中无法模拟噪声和低能本底等对能谱的影响，我们选择能谱中的最高点作为能量刻度的数据点，因此低能部分的符合情况对能量刻度的影响较小。

能量零点由随机信号发生器触发的事例的电荷积分谱确定，如图 4(c) 所示，由图可知，能量零点就在 Q

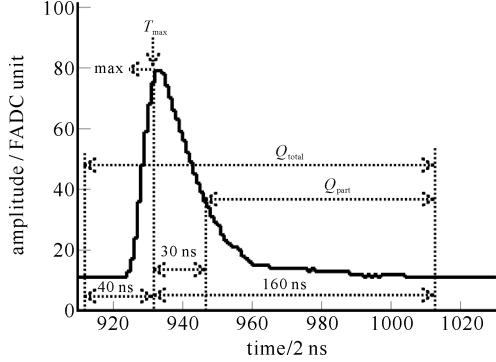


Fig. 3 Parameters' definition of the signal waveform in data processing

图 3 信号波形及数据处理中各参数的定义

值的零点。

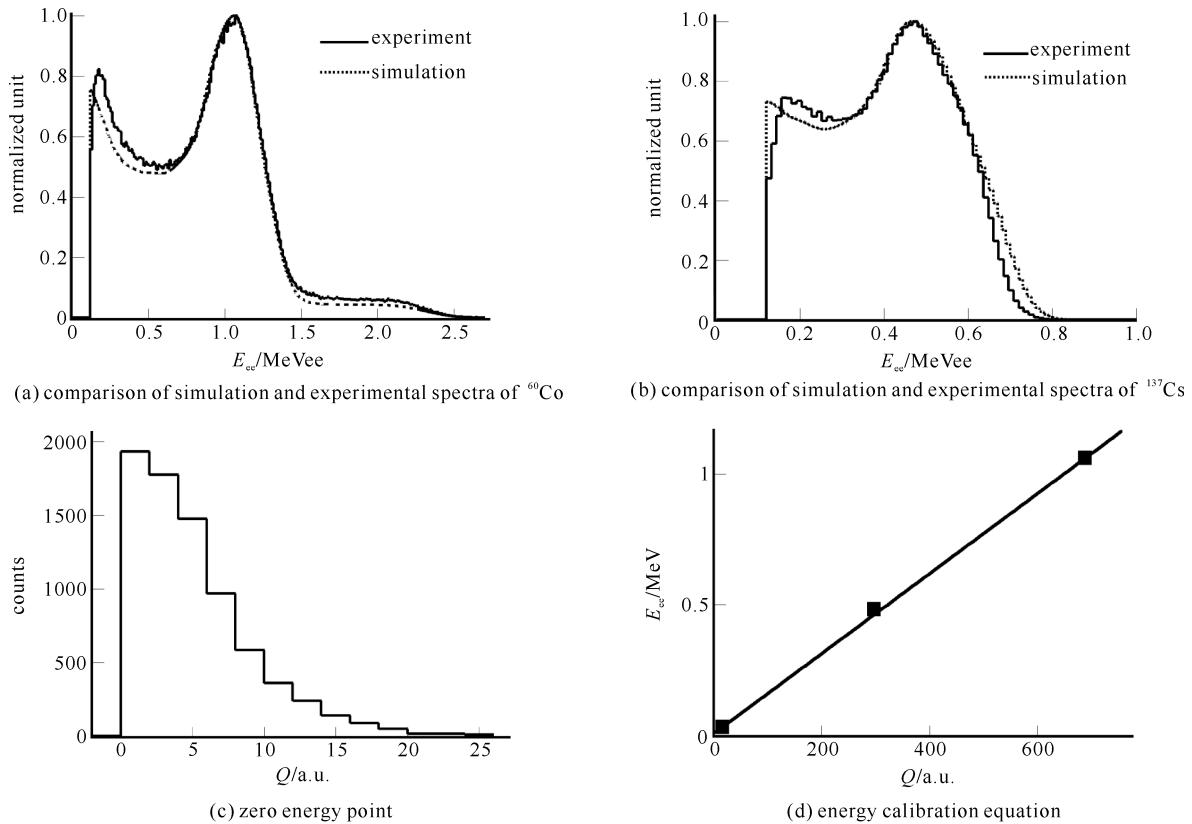


Fig. 4 Energy calibration

图 4 能量刻度

图 4(a)和图 4(b)中能谱最高点处 Q 值与等效电子能量对应关系如表 1 所示。

对表 1 中的三点做线性拟合,如图 4(d)所示,得到能量刻度方程为

$$E_{\text{ee}} = 0.001535Q + 0.003421 \quad (3)$$

2.2 n- γ 甄别

通常有中子的环境中也伴随大量的 γ 射线,即在实验中,探测器处在一个中子与 γ 共存的环境,因此液闪探测器的 n- γ 甄别能力就显得特别重要。实验中采用电荷比较法和快慢符合法对中子和 γ 进行甄别。

电荷比较法是利用反冲质子(中子信号)与反冲电子(γ 信号)的脉冲波形形状差异来区分,中子信号波形的慢成份比例要大于 γ 信号的慢成份比例,如图 5 所示,图 5 为一个典型中子信号波形与 γ 信号波形的对比。

图 3 中 Q_{part} 参数代表脉冲下降沿的电荷积分,积分区间从峰后 30 ns 到峰后 160 ns,定义甄别因子

$$D = \frac{Q_{\text{part1}} + Q_{\text{part2}}}{Q_{\text{total1}} + Q_{\text{total2}}} \quad (4)$$

其中: Q_{part1} 和 Q_{part2} 分别为左右两个 PMT 信号波形的脉冲下降沿电荷积分。以甄别因子 D 为横坐标,等效电子能量 E_{ee} 为纵坐标作散点图,即 n- γ 甄别图,如图 6(a)所示。图中高能区明显分为两个带,由图 5 可知, γ 信号的甄别因子

D 要小于中子,因此图 6(a)中左边 D 较小的为 γ 信号,右边 D 较大的为中子信号。

中子在液闪中与质子经多次碰撞慢化为热中子,被 Gd 俘获后,放出一组总能量约为 8 MeV 的 γ 光子,因

表 1 电荷积分值 Q 与等效电子能量的对应关系

Table 1 Relationship between integral charge and equivalent electron energy

	$Q/\text{a.u.}$	E_{ee}/MeV
zero energy point	0	0
^{60}Co	300	0.46
^{137}Cs	690	1.06

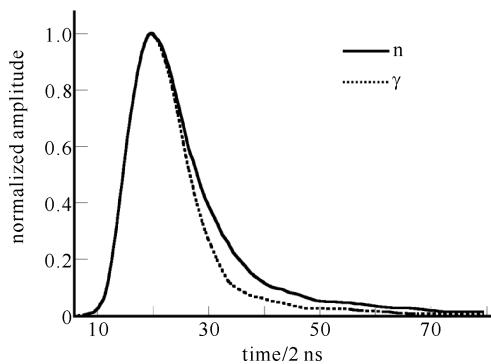


Fig. 5 The difference of neutron and gamma signal waveform

图 5 中子信号波形与 γ 信号波形的差异

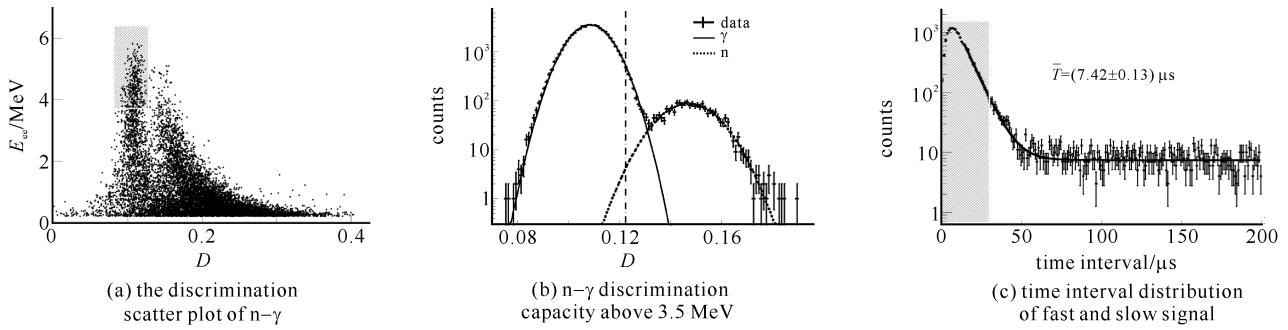


Fig. 6 Filter conditions of the detection efficiency calibration

图 6 探测效率刻度筛选条件

此在一定的时间间隔内,会出现两个信号,前一个为中子打到质子上产生的反冲核信号(快信号),后一个为 Gd 俘获中子后放出的 γ 信号(慢信号),通过快慢符合的方法也可挑出中子信号。

2.3 掺 Gd 快中子探测器的探测效率刻度

探测器对中子的探测效率对不同的测量目的有不同的定义。为了更好地描述探测器本身的性能,常用本征探测效率或本征效率 ϵ_{in} ,其定义为探测到的中子数与打到探测器上的中子数之比。

本实验利用一个活度已知的 Am-Be 中子源对探测器的本征探测效率进行了刻度,探测到的中子数定义为被 Gd 俘获的中子数,采用电荷比较法与快慢符合法相结合进行 $n-\gamma$ 甄别挑选中子事例,并用 Geant4 模拟得到各筛选条件的效率。液体闪烁探测器利用探测反冲质子的原理来探测中子,由于 $n-p$ 散射角的变化,反冲质子获得的能量是连续的,因此,液体闪烁探测器的中子探测效率与阈值直接相关^[14]。探测器的能量阈值为 0.2 MeV 等效电子能量。

2.3.1 快慢符合慢信号能量筛选

为了避免环境低能 γ 射线的干扰,数据处理中只取能量大于 3.5 MeV 的 γ 事例作为 Gd 俘获热中子的信号来分析,如图 6(a)中阴影区域的事例,并把它前面一个事例当作反冲质子的快信号,通过 Geant4 模拟得到此能量筛选条件的效率为 21.35%。

2.3.2 快慢符合慢信号甄别因子筛选

由图 6 (a)可知,在 3.5 MeV 以上, γ 事例与中子事例有重叠区,为了准确地挑选出 Gd 俘获放出的 γ 事例,将图 6(a)中 3.5 MeV 以上的所有事例投影到 X 轴,得到图 6(b)。图中纵轴为对数坐标,左边为 γ 事例峰,右边为中子事例峰,对两个峰分别用高斯拟合,选取 γ 事例峰右边两倍 σ 的位置作为边界,如图 6 (b)中点画线所示,则 γ 事例的筛选效率为 97.72%,由于高能部分的中子事例数非常少,中子被误认为 γ 的部分可以忽略不计。

2.3.3 快慢符合时间间隔筛选

为了去除绝大部分偶然符合事例,对快慢信号之间的时间间隔做了一个筛选,快慢信号时间间隔分布如图 6 (c)所示,选取时间间隔在 1 μs 到 30 μs 之间的事例,如图 6(c)中阴影部分,Geant4 模拟得到此筛选条件的效率为 96.0%。

2.3.4 偶然符合计算

为了计算图 6(c)中阴影部分的偶然符合计数,对图中的数据点进行拟合。严格来讲,应当用两个指数函数进行拟合,一个表示快慢符合的时间间隔分布,一个表示偶然符合的时间间隔分布。但偶然符合的衰减时间常数远远大于快慢符合的衰减时间常数,因此在图 6(c)中的时间间隔区域内,偶然符合部分可近似用一个常数来拟合。拟合函数为

$$f(t) = p_0 e^{-p_1 t} + p_2 \quad (5)$$

拟合结果如图 6(c)实线所示,拟合参数 p_1 的倒数即为快慢符合的衰减时间常数 $T = (7.42 \pm 0.13) \mu\text{s}$ 。参数 p_2 与图 6(c)中阴影部分直方图 Bin 数的乘积即为阴影部分的偶然符合计数。

各筛选条件的结果及偶然符合计算结果列于表 2 中。

表 2 探测器探测效率刻度结果

Table 2 Results of detection efficiency calibration

condition	event number	efficiency/%
energy above 3.5 MeV	6465 ± 254	21.35 ± 0.35
filter by discrimination factor	35112 ± 187	97.72 ± 0.74
filter by time interval of fast and slow signal	16423 ± 128	96.0 ± 2.5
count of accidental coincidence	214 ± 7	
total number of neutrons detected	$(8.21 \pm 0.27) \times 10^4$	
number of neutrons detected per second	30 ± 1	

2.3.5 探测效率计算

实验所用 Am-Be 中子源的活度为 $(7.19 \pm 0.25) \times 10^5$ Bq, 由表 2 可知, 单位时间内探测到的中子数为 30.00 ± 1 , 由探测器尺寸及中子源距探测器的距离, 根据模拟得到中子源对探测器的相对立体角为 $(6.655 \pm 0.006) \times 10^{-4}$ 。则该探测器的探测效率为

$$\epsilon_{\text{in}} = \frac{30.00}{7.19 \times 10^5 \times 6.655 \times 10^{-4}} \times 100\% = 6.30\% \quad (6)$$

相对误差为 4.79%, 这里未考虑探测器的系统误差, 误差主要来源于中子源活度的误差, 其他为探测器的统计误差。

3 结 论

假设锦屏地下实验室在 $1 \sim 10$ MeV 能区中子通量数量级为 $10^{-6} \text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 根据探测器的尺寸, 此探测器的最大截面为 1200 cm^2 , 探测器的探测效率为 6.30%, 则探测器运行大约一年时间, 采集的数据量可使中子本底通量测量结果的统计误差不超过 2%, 满足地下实验室对快中子本底测量的要求。

目前, 载 Gd 液闪快中子探测器地面测试阶段已经完成, 并已运往锦屏地下实验室开始取数运行, 地面测试阶段得到的性能参数, 如探测效率等将直接用于地下实验室快中子本底通量的测量。

参考文献:

- [1] Kang Kejun, Cheng Jianping, Li Jin, et al. Introduction to the CDEX experiment[J]. *Front Phys*, 2013, **8**(4): 412-437.
- [2] Zhao Wei, Yue Qian, Kang Kejun, et al. First results on low-mass WIMPs from the CDEX-1 experiment at the China Jinping underground laboratory[J]. *Phys Rev D*, 2013, **88**: 052004.
- [3] Yue Qian, Zhao Wei, Kang Kejun, et al. Limits on light weakly interacting massive particles from the CDEX-1 experiment with a p-type point-contact germanium detector at the China Jinping Underground Laboratory[J]. *Phys Rev D*, 2014, **90**: 091701.
- [4] Chazal V, Brissot R, Cavaignac J F, et al. Neutron background measurement in the underground laboratory of Modane[J]. *Astroparticle Physics*, 1998, **9**: 163-172.
- [5] Xing Haoyang, Wang Li, Zhu Jingjun, et al. Simulation of large-scale fast neutron liquid scintillation detector[J]. *Chinese Physics C*, 2013, **37**: 026003.
- [6] Wulandari H, Jochum J, Rau W, et al. Neutron flux at the Gran Sasso underground laboratory revisited[J]. *Astroparticle Physics*, 2004, **22**(3/4): 313-322.
- [7] Jordan D, Tain J L, Algara A, et al. Measurement of the neutron background at the Canfranc Underground Laboratory LSC[J]. *Astroparticle Physics*, 2013, **42**: 1-6.
- [8] Ding Yayun, Zhang Zhiyong, Liu Jinchang, et al. A new gadolinium-loaded liquid scintillator for reactor neutrino detection[J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 2008, **584**: 238-243.
- [9] Piepke A G, Moser S W, Novikov V M. Development of a Gd loaded liquid scintillator for electron anti-neutrino spectroscopy[J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 1999, **432**: 392-398.
- [10] Huang Hanxiang, Ruan Xichao, Chen Guochang, et al. Measurement of the response and the detection efficiency of an organic liquid scintillator for neutrons between 1 and 30 MeV[J]. *Chinese Physics C*, 2009, **33**(8): 677-681.
- [11] EJ-331 and EJ-335 gadolinium loaded liquid scintillators[EB/OL]. http://www.eljentechnology.com/images/stories/Data_Sheets/Loaded_Scintillators/EJ331-335%_20data%20sheet.pdf
- [12] 冯松, 陈小辉, 刘荣, 等. BC537 探测器中 γ 射线的响应函数测量与蒙特卡罗模拟[J]. 强激光与粒子束, 2014, **26**: 054001. (Feng Song, Chen Xiaohui, Liu Rong, et al. γ -ray response function measurements and Monte-Carlo simulation of BC537 liquid scintillator. *High Power Laser and Particle Beams*, 2014, **26**: 054001)
- [13] Tziaferi E, Carson M J, Kudryavtsev V A, et al. First measurement of low intensity fast neutron background from rock at the Boulby Un-

- derground Laboratory[J]. *Astroparticle Physics*, 2007, **27**: 326-338.
[14] 张建福, 阮锡超, 侯龙, 等. Be(d, n)反应中子源能谱测量及应用[J]. 强激光与粒子束, 2011, **23**(1): 209-212. (Zhang Jianfu, Ruan Xichao, Hou Long, et al. Measurement and application of Be(d, n) reaction neutron source. *High Power Laser and Particle Beams*, 2011, **23** (1): 209-212)

Manufacture of gadolinium-doped liquid scintillator detector

Wei Weiwei¹, Du Qiang², Wang Li³, Yu Xunzhen², Zhang Caixun¹, Xing Haoyang², Lin Shin-Ted², Tang Changjian², Yue Qian³, Zhu Jingjun¹

(1. Key Laboratory of Radiation Physics and Technology of Ministry of Education,
Institute of Nuclear Science and Technology, Sichuan University, Chengdu 610065, China;
2. School of Physical Science and Technology, Sichuan University, Chengdu 610065, China;
3. Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Astronomical observation and theoretical motivations have strongly indicated that most of matter in the Universe is made of cold dark matter. A well-motivated class of dark matter candidate is Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs). Neutron and WIMPs can produce nuclear recoils via elastic scattering off ordinary matter in terrestrial detectors to the point where neutron can bring a false positive reading. Of crucial importance to the direct detections of dark matter searches is to identify the neutron background and its influence. In order to measure the flux and spectrum of neutron background in China JinPing Underground Laboratory (CJPL), an efficient Gd-doped liquid scintillator detector which possesses a strong (n- γ) discrimination was developed. This paper reports the design and performance of the detector geometry, the type of liquid scintillators and photomultiplier tubes (PMT) as well as the low radioactivity surrounding materials and the energy calibration and the capability of neutron and gamma discrimination. Am-Be neutron source was used to evaluate the neutron detection efficiency and the result is (6.30±0.30)% above 0.2 MeV equivalent electron energy.

Key words: dark matter; fast neutron; liquid scintillator detector; energy calibration; n- γ discrimination; detection efficiency

PACS: 95.35.+d; 29.40.Mc; 98.70.Vc; 24.10.Lx; 28.20.-v